1.

Natanson Wł.

Wiadomości z nauki fizyki dla szkół wydziałowych, I redakcja

Rkp. I-rzech. obcą ręką – poprawki ręką Natansona

12.1-46

Rękopis obcą ręką przepisany

# Część pierwsza.

## O ruchu. O siłach. O energii. O ciężkości. O ciążeniu.

### § 1. Ciała.

Mamy ~~ciągle~~ (wciąż) do czynienia z różnemi rzeczami czyli przedmiotami; ~~[ badajemy je, dotykamy się ich. Przedmioty takie nazywają się w nauce ciałami.~~

[ ; w nauce nazywamy je ciałami.

~~¶~~ Sprzęty ~~nasze~~ (naprzykład) naczynia, narzędzia, budynki, odzież nasza, potrawy, napoje, [ kamienie, rośliny, zwierzęta — ~~wszystko to~~ są to ciała. ~~Zarówno~~ Drobne ziarnko piasku [ ~~jak~~ olbrzymia góra — jest ciałem. Zarówno kawał żelaza, [ jak chmura na niebie, ~~lub~~ jak dym, uchodzący z komina. ~~jest ciałem~~. Woda, ~~która~~ płynąca ~~rzece~~,

[ dalej

[ jest ciałem,

[ jest ciałem,

ką, jest ciałem; ciałem jest także powietrze, w którem jesteśmy ~~ciągle~~ zanurzeni, ~~które dmie nam w drzewa, jako wiatr~~.

Ciała zajmują i wypełniają miejsce; powiadamy, że każde ciało ma pewną objętość. ~~Tak więc i~~ Góra np. ma pewną objętość, i ziarnko piasku ma pewną objętość; tylko góra ma znacznie większą. Wnętrze dzbana ma większą objętość niż szklanki; powiadamy, że dzban ma większą pojemność niż szklanka.

objętość.

Weźmy duży arkusz papieru i niewielki klocek drewniany. Arkusz papieru ma mniejszą objętość niż klocek; jeśli ~~...~~ wsuniemy po kolei jedno i drugie do ~~szklanki~~ dzbana, pełnego wody, zobaczymy, że klocek wypchnął znacznie więcej wody niż papier, tj. zajmuje znacznie

więcej miejsca. Ale arkusz papieru ma znacznie większą powierzchnię, niż klocek. Istotnie, możemy klocek owinąć papierem i nie tylko raz, ale kilka razy.

— Dlaczego papier, pomimo rozległej powierzchni, ma nieznaczną objętość? — Ponieważ papier ma grubość nieznaczną. ~~Arkusz blaszany, o powierzchni tej samej jak arkusz papieru, ma objętość większą.~~

~~Bardzo cienki drut, możemy dać tę samą objętość jak ołówek, ale wówczas będzie miał długość znacznie większą.~~ Kawałek drutu równie długi, jak ołówek, będzie miał objętość mniejszą ⌈ niż ołówek, ponieważ jest mniej gruby, czyli ma mniejsze poprzeczne przecięcie. ⌈ (powierzchnię przecięcia ołówka przedstawia nam niezatemperowany jego koniec) ~~ołówka przedstawia nam powierzchnię przecięcia~~

poniewaz

F sama objętość, jak ołówek, jeśli mniejsze swe przecięcie wynagrodzi znacznie większą długością. —

~~ołówek~~ :/ Ale bardzo długi drut może mieć taką F

Takie własności ciał, jak objętość, powierzchnia, długość, ++ nazywają się geometrycznemi własnościami, ponieważ stanowią one przedmiot nauki Geometryi.

## §.2. O mierzeniu.

Porównywaliśmy objętość góry z objętością ziarnka, pojemność dzbana z pojemnością szklanki, dalej powierzchnię papieru z powierzchnią klocka, długość drutu z długością ołówka. A zatem można porównywać objętość z objętością, powierzchnię z powierzchnią, długość z długością. Ale nie można porównywać powierzchni np. z długością, bo ilekolwiek razy wzięlibyśmy jakąś długość, zawsze otrzymalibyśmy ~~stąd~~ długość, a nigdy powierzchnię.

Tak samo nie można porównywać powierzchni z objętością, ani objętości z długością.

Przypuśćmy, że porównaliśmy pomiędzy sobą trzy długości, np. trzech prętów A, B, C. Przekonaliśmy się, że

~~Te dwa wiersze na środku kolumny~~

pręt A jest 3 razy dłuższy od pręta B;
pręt B jest 4 razy dłuższy od pręta C.

Lepiej wtedy obrać długość pręta C. za jednostkę, t.j. powiedzieć:

~~jak wyżej~~

Długość pręta A = 12 razy długości pręta C;
Długość pręta B = 4 razy długości pręta C.

Gdyby wszyscy wiedzieli, jak długi jest pręt C, można by było powiedzieć poprostu:

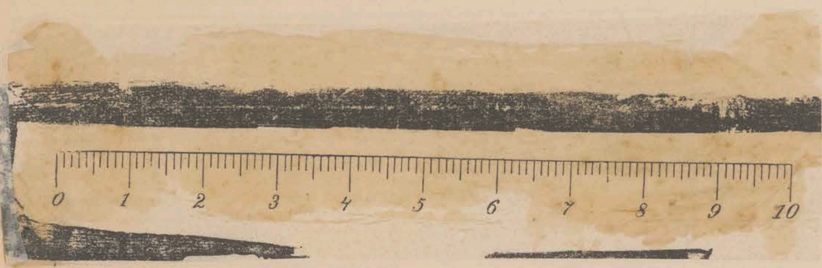
~~jak wyżej~~

Długość pręta A = 12.
Długość pręta B = 4.

## §. 3. Jednostki metryczne.

Taką właśnie długością, którą wszyscy znają, jest w wielu ~~innych~~ krajach

metr; dlatego nazywamy metr jednostką długości. Wszelkie długości należy więc porównywać z metrem, czyli mierzyć metrem. Gdy powiemy: „pięć metrów" lub „półtora metra", wszyscy będą wiedzieli, o jakiej długości mówimy, gdyż metr ma długość raz na zawsze prawem przepisaną i łatwo jest otrzymać jego kopię czyli odtworzenie ~~[illegible]~~. — Metr wynosi jedną czterdziesto-milionową część południka ziemskiego, czyli koła, które przechodzi przez oba bieguny, obejmuje całą kulę ziemską. Kilometrem nazywa się tysiąc metrów. Decymetrem nazywa się dziesiątą część metra; centymetrem — setną część metra; milimetrem — tysiączną część metra. Rys. 1. przedstawia decymetr, podzielony na centymetry i ~~centymetr podzielony na~~ milimetry. —




Rys. 1.

Rozległość powierzchni, czyli pole, możemy porównywać tylko z innem polem; zatem jednostką pól musi być pewne pole raz na zawsze obrane. Metryczną jednostką pola jest metr kwadratowy, czyli pole kwadratu, którego bok ma metr długości. Podobnież mamy decymetr kwadratowy, centymetr kwadratowy itd. Kwadrat o boku, równym stu metrom, nazywa się hektarem.

Jednostką objętości musi być pewna raz na zawsze obrana objętość. Metryczną jednostką objętości jest metr sześcienny, czyli objętość sześcianu, którego krawędź ma metr długości. Podobnież mamy decymetr sześcienny, czyli krócej litr; dalej centymetr sześcienny i t. d.

## § 4. Ruch.

Jeśli ktoś stoi na środku poko-

ju, a później widzimy go koło drzwi, powiadamy, że zmienił miejsce w pokoju. Gdybyśmy byli ciągle nań zważali, bylibyśmy zobaczyli, jak przechodził od środka pokoju do drzwi; bylibyśmy widzieli, jak się poruszał. Każda zmiana miejsca jest wynikiem ruchu. – – Co nie zmienia miejsca, to jest w spoczynku, t.j. nie porusza się. –

Gdy więc chodzi ktoś, biega lub skacze, ~~wówczas~~ jest w ruchu; a gdy siedzi lub leży, jest w spoczynku. Kamień, leżący na ziemi, jest w spoczynku. Gdy go podnosimy, jest ~~już~~ w ruchu; jeśli go rzucimy, porusza się, dopóki znów nie upadnie na ziemię. Wóz toczy się po drodze; chmury przeciągają po niebie; koło w maszynie się kręci; ~~wiatrak się obraca~~; huśtawka kołysze się.

drzewa (chwieją się; ~~się, woda leje się~~
~~z przetykanej konewki~~; wszystko
to są przykłady ruchu. W sadzawce
woda jest zwykle w spoczynku, w stru-
mieniu ~~zaś~~, w rzece, w wodotrysku -
jest w ruchu. ~~W pokoju powietrze~~
~~jest zwykle w spoczynku; gdy po-~~
~~wietrze jest w ruchu, uczujemy~~
~~to przeciąganiem; pod otwartem~~
~~niebem - wiatrem~~.

~~Powietrze w pokoju jest zwykle w spoczynku; teraz pod otwartem niebem jest najczęściej w ruchu. Powiadamy wówczas, że wieje wiatr.~~

Każdy ruch odbywa się w ja-
kimś kierunku; np. kamień,
~~wy~~puszczony swobodnie ~~z ręki~~,
ale nie rzucony, biegnie prosto
ku ziemi, czyli spada. ~~Rzucona~~
~~w pokoju prosto do góry piłka,~~
~~biegnie, aż uderzy o sufit; wów-~~
~~czas odbiega w przeciwnym~~
~~kierunku, ku dołowi~~. Idąc
~~drogą~~ prosto (przed siebie) odbywamy ruch
w kierunku ciągle jednostajnym,
gdy zaś ~~np.~~ obchodzimy coś do-
koła, ruch nasz ma w każdej

chwili coraz to inny kierunek. —

— Ruch wzdłuż jakiejkolwiek linii, prostej czy krzywej, może odbywać się w dwuch przeciwnych sobie kierunkach. Pociąg np., stojący na szynach, może poruszać się bądź naprzód, bądź wstecz. Szufladę można wysuwać i wsuwać. Statki i tratwy płyną po rzece z wodą i pod wodę.

~~Wskazówki zegara posuwają się od godziny dwunastej ku pierwszej, od pierwszej ku drugiej i t. d.; nie którzy raz, chcąc zegar „nastawić" poruszają je w przeciwnym kierunku; ponieważ wszakże zegar się psuje.~~

„Drogą" w języku codziennym nazywamy miejsce, przeznaczone na to, by po niem chodzili ludzie, biegły konie, toczyły się wozy i powozy. Lecz niekiedy nadajemy inne znaczenie temu wyrazowi, gdy np. mówimy,

„tędy wypada mi droga" lub „mam
daleką drogę do odbycia". W języku
naukowym drogę nazywamy linią,
po której odbywa się pewien ruch.
~~Kiedy~~ Kamień, spadający swobodnie,
biegnie wprost na dół ku ziemi
po drodze prostej pionowej t.j. w
kierunku, jaki przybiera sznu-
rek, na którym zawieszono cię-
żarek. ~~Kiedy pociąg biegnie~~
~~po szynach, każda część loko-~~
~~motywy i wagonów porusza się~~
~~po drodze, równoległej do szyn;~~
~~tylko koła odbywają inny ruch,~~
~~gdyż jednocześnie posuwają się~~
~~naprzód i kręcą się~~. Jeśli kamień
uwiązany na sznurku, obracamy
koło dłoni, ~~kamień~~ porusza się
on po drodze kołowej. ~~Kiedy wieczo-~~
~~rem potrząsa~~ Poruszając szybko
w ciemności zapałkę tlejącą, widzimy smugę
ognistą, którą zapałka zostawia
po sobie. Gwiazda spadająca

daje ślad świetlny na niebie. Statek, płynąc po jeziorze, wytwarza widoczną smugę na powierzchni wody. W tych razach widzimy drogę, którą odbywała rakieta w powietrzu, gwiazda na niebie, lub statek po wodzie. Kiedy piszemy kredą na tablicy, mamy drogę kredy po tablicy w postaci liter i wyrazów.

## §. 5. Ruch wymaga czasu.

Żeby wyjść kilometr po zwykłej drodze, ~~potrzeba~~ mniej więcej kwadransa czasu, czyli 15 minut. Jadąc średnim kłusem końskim, przebywa się ~~przebywamy~~ kilometr w 5 minut ~~minut~~ mniej więcej. ~~do przebycia kilometra~~ ~~Jedna minuta wystarcza~~ Pociągowi pospiesznemu na kolei żelaznej wystarcza, na przebycie kilometra, jedna minuta. ~~jedna minuta~~ ~~do przebycia kilometra drogi~~. Wystrzelona z działa kula ~~armatnia~~ przebiega kilometr w ciągu dwu ~~trzech~~ sekund.

Nakoniec ziemia nasza w ~~swej~~ (swej) drodze koło słońca zużywa na przejście kilometra tylko 30^{tą} część sekundy ——

— Możnaby ~~było~~ wystawić sobie, że jakieś ciało pędzi tak, iż przebywa kilometr w czasie jeszcze krótszym, np. w ciągu 100^{tej} albo 1000^{tej} części sekundy; ale nie można pomyśleć, ażeby wcale nie potrzebowało czasu na przebycie kilometra. W tej samej chwili ciało nie może być u początku i u końca tego kilometra. ~~Zatem~~ Wszelki ruch wymaga czasu.

Kiedy pieniądz wypadnie komu z ręki, wydaje się, jak gdyby w tej samej chwili już był na ziemi; tymczasem nie jest. Nietrudno jest pochwycić spadający

pieniądz ~~przedmiot~~ w biegu; zanim więc ~~przedmiot~~ dobiegnie on ziemi, mamy widocznie czas spostrzedz, co się dzieje i wprawić rękę w ruch,

żeby go pochwycić. ‡ Rzeczywiście: pieniądz, puszczony z odległości półtora metra od ziemi, dobiegnie ~~ziemi~~ jej dopiero po upływie przeszło pół sekundy.

## §. 6. Prędkość.

Mówi się, że ktoś idzie prędko, jeśli zużywa czas niedługi na przebycie pewnej drogi. Jeśli kto inny tę samą drogę przebywa w czasie dłuższym, powiadamy, że porusza się mniej prędko, czyli z mniejszą prędkością. Zatem prędkość ruchu jest tem znaczniejsza, im krótszy jest czas, potrzebny do przebycia pewnej ~~oznaczonej~~ drogi. ‡ Kula ziemska ~~sza~~, jak wiemy z §. 5-go, biegnie prędzej, niż kula armatnia; kula armatnia - prędzej, niż pociąg pośpieszny; pociąg - prędzej niż

~~F Pociąg pośpieszny np. biegnie prędzej, niż towarowy, albowiem tę samą drogę przebywa w czasie krótszym~~

powóz; powóz jedzie prędzej, niż ~~idzie~~ człowiek pieszo. idzie

~~Pociąg pośpieszny biegnie prędzej niż towarowy; bowiem odległość pomiędzy dwiema stacyami przebył w czasie krótszym. Koń popędzany powinien biedz prędzej. W wyścigach ten koń wygrywa gonitwę, który biegł najprędzej.~~

Wypuszczony jednocześnie ze stacyi pociąg pośpieszny i towarowy; po upływie godziny pociąg pośpieszny znacznie wyprzedził towarowy, t.j. w czasie jednakowym ~~pociąg pośpieszny~~ obiedzie dłuższą ~~drogę~~, niż towarowy. Zatem, im prędkość ruchu jest większa, tem dłuższa jest droga, przebywana w jakimś oznaczonym czasie. Kto np. jest ścigany, biegnie, jak może najprędzej, bo pragnie przebywać w jednakowym czasie drogę dłuższą, niż ścigająca go pogoń.

~~bowem~~

drogę

## §. 7. Prędkość stała i zmienna.

~~Kiedy~~ Pociąg ~~kolejowy stoi~~ [stojąc] na sta-
cyi, nie ma ~~zgoła~~ wcale prędkości,
czyli ma prędkość żadną. Kiedy z niej
wyrusza, jedzie coraz prędzej, nabie-
ra coraz większej prędkości; ~~wzma-
ga się. Tu zatem prędkość ruchu
się zwiększa: ruch jest przyspiesza-
ny~~ ; tu ~~zatem~~ ruch pociągu jest przyspieszony. ~~się~~ Rozpędziwszy się należycie,
pociąg ~~już~~ nie przyspiesza ~~bie-
gu~~, ale ~~go~~ też nie zwalnia; po-
rusza się więc z prędkością sta-
łą, czyli porusza się ruchem jedno-
stajnym. Nareszcie zbliżając się
do następnej stacyi, na której
ma ~~zatrzymać się, czyli~~ stanąć,
pociąg ~~musi~~ hamuje się,
więc zwalnia biegu, zmniejsza
swą prędkość. Tu znowu ruch
~~a mianowicie~~ ale będzie niejednostajny, ~~będzie~~ zwal-
niany.

Jeśli pociąg, zupełnie rozpę-

kony i biegnący jednostajnie, przebywa kilometr w ciągu minuty, tedy przebędzie piętnaście kilometrów w ciągu kwadransa a sześćdziesiąt kilometrów w ciągu godziny. Zatem, czy powiemy, że porusza się z prędkością kilometra na minutę, czy też że z prędkością sześćdziesięciu kilometrów na godzinę, [będzie] ~~jest to zupełnie~~ wszystko jedno. Jest to prędkość ta sama, jeśli ruch jest jednostajny. Zupełnie inaczej, jeśli nie jest jednostajny. Kiedy np. pociąg się rozpędza, nie jest wszystko jedno, czy zważamy ~~na~~ drogę przebytą w ciągu pierwszej minuty, czy ~~na~~ drogę przebytą w ciągu dziesiątej lub piętnastej minuty. W ciągu kwadransa pociąg ~~przebędzie~~ [przebywa] wówczas oczywiście [daleko] dłuższą drogę, niż gdyby był się ~~nadal~~ [ciągle] poruszał z prędkością, jaką miał w pierwszej minucie. —

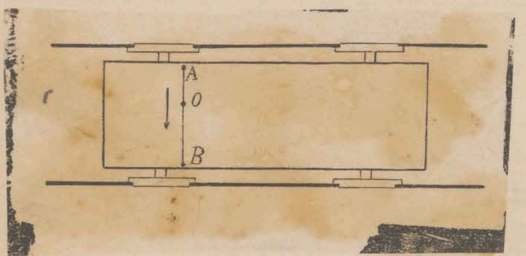
Ruch, złożony z dwu ruchów.

## § 8. ~~Dwa ruchy jednoczesne.~~

Można jednocześnie chodzić po pokoju i poruszać ręką. Ręka ~~ręka~~ uczestniczy wówczas w ruchu całego ciała, ~~t.j. odbywa ten sam ruch~~ t.j. odbywa ten sam ruch — postępowy, jaki odbywa głowa i tułów ~~całego ciała~~; ale prócz tego odbywa swój ruch własny, zupełnie tak samo, jakgdybyśmy wcale nie szli naprzód, lecz stali w miejscu. Mówimy ~~się~~, że ręka wykonywa jednocześnie dwa ruchy: ruch postępowy całego ciała i ruch własny; lub też, że ręka wykonywa ruch, złożony z tych dwu ~~ch~~ ruchów.

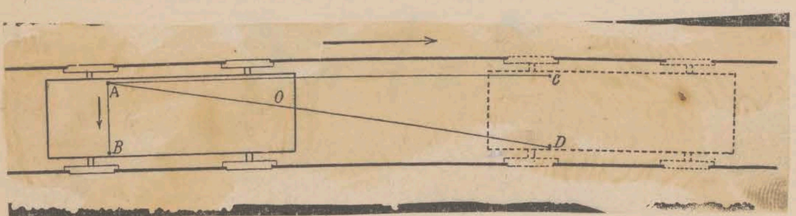
Kiedy w wagonie, który toczy się po szynach, ~~ktoś~~ siedzimy nieruchomo, nie zmieniając ~~swego~~ miejsca w obec wagonu, jesteśmy w spoczynku względem wagonu. Rzeczywiście, gdy powóz jest zamknięty, ściany jego ~~a także~~ i

osoby, które w nim siedzą, wydają ~~się~~ nam się nieruchome, i gdyby nie stukot i wstrząśnienia, moglibyśmy sądzić, że się w ogóle wcale nie poruszamy. Wyjrzawszy przez okno, widzimy odrazu, że uczestniczymy ~~wspólnie~~ w ogólnym postępowym ruchu wagonu; mianowicie widzimy, że względem ziemi, względem drzew, względem domów, jesteśmy w ruchu. -




Rys. 2

Przypuśćmy, że ktoś ~~chodzi~~ po wagonie chodzi wszerz ~~wszerz~~, np. od okna do okna. Jeśli wagon stoi wówczas w miejscu, wtedy drogą po której ten ruch się odbywa, jest np. prosta AB. (rys. 2) Ale jaką drogę odbywa człowiek O, kiedy chodzi wszerz po wagonie, (który) biegnie nie ~~...~~ po szynach (rys. 3)? Człowiek odbywa wówczas jednocześnie dwa ruchy. 1. uczestniczy (jak wszystko co jest w wagonie) w ogólnym ruchu




Rys. 3 -

postępującym wagonu ~~według szyn~~, 2). chodzi w szerz po wagonie, tak samo jak chodziłby w nieruchomym wagonie. Dzięki pierwszemu ruchowi przebiega on w ciągu sekundy np. drogę AC.; to byłaby jego rzeczywista droga, gdyby nie chodził wszerz po wagonie. Dzięki drugiemu ruchowi porusza się w ciągu sekundy od A do B; to byłaby jego rzeczywista droga, gdyby wagon stał w miejscu. Ostatecznie więc człowiek odbędzie jednocześnie drogę AC i drogę AB., czyli ~~pójdzie po linii AD.~~ odbędzie drogę AD.

dotąd

## §. 9. ~~Siła~~. O sile.

Wiemy ~~Wiemy~~ dobrze, ~~było ciągle widziany~~ że same przez się przedmioty się nie poruszają. Sprzęty w pokoju stoją nieruchomo, dopóki ich ~~nikt~~ kto nie popchnie, nie

~~podniesie się do góry, nie~~

potrąci.

podniesie, nie potrąci. Drzwi, choćby się najlżej otwierały, koło, choćby się na osi najgładziej kręciło, — nie poruszą się, dopóki nie wprawi ich w ruch jakaś zewnętrzna podnieta. Huśtawka, pozostawiona sobie, trwa w zupełnym spoczynku, choć dość małego wysiłku, żeby ją poruszyć. Wskazówki zegarka nie poruszają się same przez się, lecz wprawiane są w ruch przez sprężynę zegarka. Nie same przez się chwieją się drzewa, liście na nich drżą, a kłosy zboża w polu się kołyszą; — wszystko to ~~[illegible]~~ sprawia <u>wiatr</u>. A zatem ciała, gdy są w spoczynku, <u>trwają w nim</u>, i przechodzą w ruch tylko pod wpływem zewnętrznej podniety.

Zobaczmy, jakie to bywają zewnętrzne podniety, które mogą wprawić ciała w ruch. Żeby poruszyć okno, drzwi, szufladę, żeby

rozkołysać wiszącą lampę lub huśtawkę,
żeby koło na osi wprawić w obrót, po-
pychamy te ciała, naciskamy je al-
bo ku sobie ciągniemy, jednem sło-
wem <u>wywieramy na nie siłę</u>. Wi-
dzimy, że sprężyna skręcona poru-
sza kółka w zegarku, zupełnie po-
dobnie, jak ręka nasza mogłaby je
poruszać; zatem sprężyna skręcona
również może popychać, naciskać
i ciągnąć, czyli wywierać siłę. Jeże-
li wyciągniemy w ręku kauczuko-
wą taśmę, czujemy jak mocno
ona ciągnie rękę; taśma wy-
ciągnięta wywiera więc siłę, któ-
ra się opiera wyciąganiu. Próbuj-
my młode drzewko zgiąć i pochy-
lić ku ziemi, czujemy, że drzewko
opiera się temu, ciśnie na dłoń,
więc wywiera na nią siłę. Siłę
tę nazywamy <u>siłą sprężystości</u>.
Zamknijmy palcem wylot miesz-
ka i spróbujmy poruszać mieszek

jak szybko, poczujemy, że powietrze ściskane przez mieszek, uciska nam palec. Ciśnienie to jest także siłą. Zamknijmy wylot mieszka niewielkim kawałkiem tektury, którą przyciskamy do jego brzegu. Gdy nagle palec odejmiemy, tektura odskoczy; siłą, która ją wprawiła w ruch, jest ciśnienie powietrza. Podobnie dzieje się przy wystrzale z działa; pocisk wylatuje z armaty pod działaniem siły, mianowicie ciśnienia gazów, które wytwarzają się pod pociskiem nagle wskutek wybuchu naboju. Nareszcie wszelkie ciało, które ~~samo~~ się porusza, może siłę wywrzeć. Tak kula bilardowa potrąca inne kule i wprawia je w ruch; w kręglach tocząca się kula przewraca słupki; woda płynąca porusza młyn wodny; wiatr czyli poruszające się powietrze obraca wiatraki, unosi kurz do

~~górę, kołysze liście, drzewa i kłosy, zrywa niekiedy kapelusze z głów i nawet dachy z domów.~~

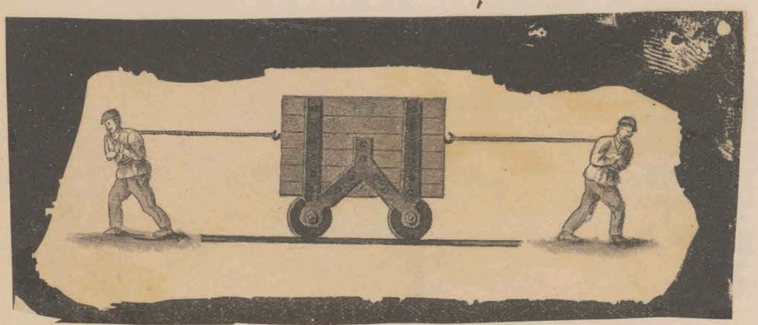
## §. 10. Równowaga.

~~Powiedzieliśmy, że~~ Kiedy jakaś siła działa na jakieś ciało, wyprowadza je ona ze spoczynku i wprawia w ruch. Ale każdy ruch odbywa się w jakimś kierunku /§. 4./, zatem każda siła działa w jakimś kierunku, mianowicie w tym, w którym ruch nadaje. ~~Wyciągnięta dźwignia np. rzucenie ręką w kierunku ku sobie~~, Drzewko zgięte np. ciśnie w tym kierunku, w jakim powraca do swego zwykłego położenia, gdy je oswobodzimy od ~~[illegible]~~ nacisku. –

Wystawmy sobie ~~[illegible]~~, że na jakieś ciało działają jednocześnie dwie siły, jednakowe, lecz mające wprost przeciwne kierunki. – Przypuśćmy np. że jedna ciągnie

(jakieś) ciało w prawo, a drugie - w lewo. Ciało nie poruszy się ani w prawo, ani w lewo, i pozostanie w spoczynku. Mówimy wówczas, że siły równoważą się; że ciało, pod działaniem dwóch jednakowych, lecz przeciwnych sobie sił, pozostaje w równowadze.

— Jeśli np. dwaj ludzie jednakowo silni, staną po dwóch stronach wagonu i każdy pocznie go ciągnąć ku sobie (rys. 4), wówczas wagon nie ruszy się z miejsca, jak gdyby go nikt nie ciągnął. Jeśli z jednej strony ciągnąć go będzie dwóch ludzi, a z drugiej jeden człowiek, wagon pójdzie w stronę silniejszego ciągnienia; ale wtedy połowa wysiłku dwóch ludzi pójdzie na zniweczenie siły trzeciego, który opiera się z drugiej strony wagonu. —



Rys. 4

Rys. 5 Drzewko
Rys. 6. Prom
Rys. 7. Przepalanie nitki

## §. 11. Siła ciężkości.

Podobnie, jak zgięte drzewko ciśnie na dłoń, jak kauczukowa taśma ją ciągnie, podobnież uciska ją kamień, położony na dłoni, podobnież ciągnie ją na dół, gdy go w dłoni trzymamy. Jakaś siła musi więc działać na kamień, która sprawia, że kamień może cisnąć lub ciągnąć. Siłę tę nazywamy siłą ciężkości.

Zastanówmy się, w jakim kierunku działa siła ciężkości? tj. w jakim kierunku nadaje ona ciałom ruch, kiedy działa na nie sama jedna. Trzymamy kamyk ręką; żeby go poddać działaniu samej tylko ciężkości, rozwieramy rękę, starając się nie popchnąć kamyka w żadną stronę. Kamyk zaczyna się poruszać. Dokąd pójdzie? czy będziemy go szukali na suficie

lub na sznurach? Zawsze na dół pójdzie, będzie _spadał_. Jeśli puściliśmy go zupełnie swobodnie, będzie spadał wprost ku ziemi, w kierunku _pionowym_, tj. w takim (§. 4.), w jakim wyprężą się t. zw. _pion_, czyli nić obciążona jakimbądź ciężarkiem (rys. 6.). Trudno jest wypuścić coś z ręki zupełnie swobodnie, nie popchnąć mimowoli ciała choć trochę w jakim bocznym kierunku. Urządzimy więc doświadczenie w sposób następujący. W dwóch lub trzech kawałkach tektury wycinamy otwory okrągłe (rys. 7.) nieco większe, niż kulka metalowa _k_, stanowiąca ciężarek naszego pionu. Ustawiamy kawałki tektury nad sobą tak, ażeby otwory przypadały pionowo jeden nad drugim; tak będzie, skoro pion, wisząc swobodnie, będzie przechodził przez środki otworów.

Wciągnęmy teraz kulkę pionu ponad otwór najwyższy, przeciągamy nitkę ponad igłą lub stalowym drutem i część jej umocowujemy w położeniu pochyłem (: rys. 7.) Możemy teraz przepalić nitkę w A. dotykając jej tylko samym płomieniem; kulka spada bez żadnego popchnięcia i zobaczymy, że przechodzi przez dolne otwory; zatem spada pionowo.

Siła ciężkości ma więc kierunek pionowy ku ziemi.

## §. 12. Ciężkość w równowadze z innemi siłami.

Można wziąć młode, giętkie drzewko i nachylić je ku ziemi. Dopóki trzymamy je ręką w tem położeniu, siła sprężystości drzewka równoważy się z siłą naszych mięśni. Ale możemy utrzymywać

drzewko w takiem położeniu, ż ~~w inny sposób, np. jeśli~~ obciążywszy je u góry ciężarem jak pokazuje rys. 5. Z jakąż siłą równoważy się teraz sprężystość drzewka? Oczywiście z siłą ciężkości. ——

—— W pionie wiszącym spokojnie (§. 11.) nitka wypręża się prosto, tak zupełnie, jak gdyby ją kto ciągnął ku dołowi. Jakaż siła ją wypręża? Siła ciężkości. Jeśli ~~na nitce~~ zawiesimy bardzo znaczny ciężar (na nitce), ~~nitka się~~ zrywa się ona ~~czyli~~ nie wytrzymuje działania bardzo znacznego ~~siły ciężkości~~ ciężaru, podobnie jak nie wytrzymuje bardzo znacznego ciągnienia. Większą wytrzymałość niż nitka ma drut metalowy, który zrywa się dopiero pod działaniem ogromnego ciężaru.

Wystawmy sobie drut OK., zaopatrzony w kulę K. (rys. 8) prawie,

sznury na haku A. Zastanówmy się, dlaczego drut taki wisi spokojnie w położeniu pionowem OK, gdy tymczasem w położeniu pochyłem OL nie jest w równowadze i zaczyna zaraz spadać ku OK. Oto dlatego, że siła ciężkości działa zawsze pionowo (:§. 11.), drut zaś tutaj F w równowadze tylko pod działaniem takiej siły, która rozciąga go wzdłuż. Gdyby np. ciężkość w położeniu OL działała w kierunku LN, mielibyśmy w tem położeniu równowagę; lecz ciężkość działa w kierunku LP, więc równowagi nie ma. — Oczywiście w jednem tylko położeniu OK. ciężkość przypada w prostem przedłużeniu drutu, tak iż w tem tylko położeniu może być równowaga.

Pod działaniem siły ciężkości ruch kulki w L. odbywa się

F ponieważ na haku może się obracać, więc będzie w

nie wprost na dół, lecz po łuku hk, albowiem na inną drogę nie pozwala opór drutu. Najniższym punktem na tym łuku jest punkt k, ⌈w którym może być równowaga. A zatem kulka k. jest w równowadze gdy zeszła tak nizko, jak tylko ~~w tym razie~~ zejść mogła. —

⌈ ten właśnie,

Ryc. 9 — Ryc. 17.

## §. 13. Środek ciężkości.

Na trójkątnej podstawie O. połóżmy płaską deseczkę drewnianą AB. /ryc. 10./ tak, ażeby była w równowadze, tj. żeby się nie przechyliła w jedną ani w drugą stronę. Postawmy teraz na niej jednakowe ciężarki GG. w równej odległości od podstawki. Zobaczymy, że i teraz wszystko będzie w równowadze. Dwa ciężary, działające na końce deseczki, można więc zrównoważyć przez opór

niejasne

podstawki, który dzwoła na jej środek. To uczy, że dwie siły równoległe, dwa ciężary g. g. (rys. 11.) jakby składają się tutaj na jedną siłę wypadkową F., która dostając na środek c. zastępuje siły g. g. obiedwie razem. Podobnież będziemy mieli równowagę, jeśli na deseczkę AB. (rys. 10.) położymy z każdej strony po dwa lub trzy ciężarki; zatem 4 ciężary, 6. ciężarów może również zastąpić przez jedną siłę, mianowicie przez ich wypadkową F. przyłożoną do środka C. (Rys 12.) Zatem gdy mamy sztabę MN. (rys. 13.) możemy pomyśleć, że składa się z osobnych części, z których każda ma swój ciężar g.; wszystkie te ciężary g. g. . . składają się na wypadkowy ciężar F., przyłożony do punktu C. który nazywa się środkiem ciężkości. Środek ciężkości jest to więc punkt taki,

ze całą siła ciężaru ciała jest jakby do niego tylko przyłożona.

Zawieśmy jakieś ciało na nitce, dopóki środek ciężkości niewisi dokładnie pod nicią, w jej prostem przedłużeniu, dopóty nie będzie równowagi, podobnie jak nie mogło jej być w położeniu odchylonem drutu z kulką (: §. 12.). Tak tedy w położeniu I. niebędzie równowagi (: rys. 14.) a w położeniu II. równowaga będzie.

Na tej zasadzie możemy znaleść położenie środka ciężkości w deseczce drewnianej ABCD. (: rys 15.) - Zawieszamy deseczkę za jeden róg A. (: rys. 15 A) i rysujemy na niej prostą, która w równowadze przypadałaby w przedłużeniu nici. Zawieszamy deseczkę za drugi róg B. i znowu rysujemy taką samą prostą. (: rys. 15, B.) Ponieważ środek ciężkości musi leżeć i na pierwszej

prostej i na drugiej, przeto znajduje się w miejscu ich przecięcia O. Trzeciy wiście: jeśli zawiesimy deseczkę jeszcze za trzeci róg C. i poprowadzimy prostą w przedłużeniu nitki, przekonamy się, że prosta ta trafia w punkt O. /fig. 15. C./

Ciężar ciała zawieszonego na nici równoważy się z wytrzymałością nici, a ciężar ciała podpartego - z oporem podstawy. Ale wiemy, że cały ciężar ciała jest jakgdyby zebrany i skupiony w środku ciężkości i dźwiga na nań na dół pionowo. Zatem: jeśli linia pionowa, poprowadzona ze środka ciężkości, trafia w podstawę ciała, tedy ciało stoi, czyli jest w równowadze. Jeśli zaś ta linia trafia poza obręb podstawy, ciało przewraca się, bo ciężar jego nie znajduje ~~się~~ oporu, któryby go równoważył. Tak więc wóz na równej drodze jest w równowadze

boczna pochyłej linia, wychodząca ze środka ciężkości pionowo na dół, zbliża się ku kołom. Na ryc. 16. widzimy położenie, w którem przechodzi ona tożsamie przez koło (cz.); jeszcze najmniejsze pochylenie się wozu, a musi się przewrócić.

Na mocy tego co powiedziano, łatwo wytłomaczyć, dlaczego tak trudno jest postawić kij na stole; dlaczego pochylamy się w lewo lub wyciągamy lewą rękę, gdy niesiemy ciężar w prawej ręce; dlaczego, żeby mocno i pewnie stanąć, rozstawiamy nogi jaknajszerzej i t. d.

## §. 14. Praca.

Trzymając kamień w ręku, równoważymy siłę ciężkości siłą naszych mięśni; siła ciężkości ciągnie kamień na dół, my równie mocno ciągniemy go w górę. Jeśli

Teraz postąpimy mocniej, podniesiemy kamień przeciwko sile ciężkości. Powiadamy wówczas, że wykonujemy pracę przeciwko sile ciężkości.

zbyt naukowo

Gdy chłopiec, niosąc ciężar wchodzi na schody, musi przezwyciężać działanie ciężkości przy każdym schodku, bo siła ta działa wciąż i opiera się podnoszeniu ciała ciężkiego o każdy centymetr w górę. Na każdy schodek pójdzie więc pewna praca, a całkowita praca wykonana przez chłopca, powstanie z dodania do siebie tych wszystkich drobnych prac, czyli będzie ich sumą. Zatem, żeby wnieść ciężar na drugie piętro trzeba wykonać większą pracę, niż żeby wnieść go na pierwsze piętro. Praca wykonywana przeciwko sile ciężkości, jest tem większa, im większa wysokość, o którą podnosimy ciało.

Za naukowo wyrażony; przykład obrobić i prościej.

za naukowo

Wstępowanie na schody, wspi-

wanie się na drabinę, wchodzenie na stromą górę, męczy nas znacznie bardziej niż przejście tej samej drogi pozio-mo, po równinie. Dlaczego? Albo-wiem siła ciężkości działa w kierun-ku pionowym, ku dołowi, (§ 11.) a zatem sprzeciwia się jedynie *podnoszeniu* się ciał t.j. ich ruchowi pionowemu do góry. Ruchowi poziomemu siła ciężkości wcale się nie sprzeciwia. Gdy wznosimy się w górę, po schodach czy drabinie, musimy wykonywać pracę przeciwko całemu ciężaro-wi naszego ciała; gdy przesuwamy się poziomo, nie mamy wcale tej pracy do wykonania.

Czemuż jednak, ażeby przesu-nąć skrzynię po podłodze, lub ka-mień po stole potrzeba wysiłku? Ponieważ pomiędzy powierzchnią skrzyni a podłogą, pomiędzy po-wierzchnią kamienia a stołem *działa tarcie*, które sprzeciwia się

ruchowi. Na pokonanie tego oporu trzeba wykonać pracę, podobnie jak trzeba wykonać pracę na pokonanie oporu ciężkości, kiedy się podnosi ciężar do góry. Ale tarcie jest czemś zupełnie różnem od ciężkości. Np. kamień jest oczywiście jednakowo ciężki, czy leży na suknie, czy na szkle, tymczasem tarcie kamienia o sukno jest znacznie większe, niż tarcie o szkło. Jeśli chcemy podnieść wóz do góry, mamy do czynienia z ciężarem wozu; kiedy ciągniemy go po drodze pokonywamy tarcie kół o ziemię i osi w panewkach. Wiemy dobrze, że w tych dwóch razach napotykamy na opór całkiem odmienny. –

## §. 15. Praca ciężkości.

Podnosząc kamień, wykonujemy pracę przeciwko sile ciężkości. Ale praca ta nie ginie, nie jest

Źle wyrażone, nie [illegible] zrozumiane

stracona. Możemy ją odzyskać jeśli pozwolimy kamieniowi opuścić się na dół napowrót. Wówczas siła ciężkości pracuje tj. dostarcza nam pracy. Praca np. jaką wyłożyliśmy na podniesienie ciężarków w zegarze ściennym, zwraca nam się napowrót, gdy ciężarki spadając wprawiają w bieg mechanizm zegara. Na stole a. (rys. 17.) mamy kloc b. Ażeby kloc posuwać potrzeba pracy, z powodu tarcia o stół. Pracy tej dostarczy siła ciężkości, jeśli do ~~pr~~ kloca przywiążemy sznurek; sznurek ten przeciągniemy ponad kółkiem czyli bloczkiem c., i zawiesimy na końcu sznurka ciężar a. Opadając ciężar, będzie ciągnął kloc po stole, siła ciężkości będzie ~~tr~~ wykonywała pracę, która zużywa się z powodu tarcia. Za pośrednictwem sznurka przechodzącego ponad bloczkiem, możemy też użyć ciężkości jednego ciała A (rys. 18.) nato, żeby

podnieść drugie ciało B. Ciężar ciała A. musi być nieco większy, niż ciężar B. gdyż przy równości ciężarów nie-libyśmy równowagę. Praca, jaką daje ciężkość ciała spadającego, pójdzie więc przedewszystkiem na pokonanie ciężkości podnoszonego ciała, a w części także na pokonanie tarcia sznurka o blok, i osi bloku o panewkę, w któ-rej się mieści.

## §. 16. Nadanie prędkości jest pracą.

Kiedy kamień opada, siła ciężkości może więc dostarczyć pewnej pracy. Tę pracę wyzyskujemy zużywając ją na pokonanie tarcia lub podnie-sienie innego ciężaru; ale jeśli kamień spada swobodnie, nie wyzyskujemy tej pracy. Co się wów-czas dzieje? Na co zostaje zużyta praca, której może dostarczyć siła

szybkości? Zostaje ona zużyta na ożywienie ruchu spadającego ciała. Możemy przekonać się o tem na bloku, (rys. 18.) Zawieszamy na sznurku po jednej stronie szalkę i sypiemy wnię śrutu. Gdy śrutu jest mało przeciwwaga opada bardzo prędko na dół; gdy śrutu jest dużo, przeciwwaga opada powolniej. Zatem, o ile praca ciężkości działającej na ciało, nie została zużyta na inny cel, o tyle idzie ona na ożywienie ruchu tego ciała na nadanie mu prędkości. Kiedy pracy tej wcale nie zużywamy, idzie ona całkowicie na wytwarzanie prędkości, tak dzieje się przy spadaniu zupełnie swobodnem.

Z tąd widzimy, że nadanie jakiemuś ciału pewnej prędkości jest także pracą. Żeby rzucić kamień w górę, trzeba wykonać pracę, tak samo, jak trzeba ją wykonać, żeby kamień w górę wciągnąć

lub podnieść. Różnica jest tylko ta, że w pierwszym razie pracę musimy wyko- nać bardzo szybko, w ciągu krótkiej chwi- li; gdy tymczasem w drugim razie praca rozkłada się na cały czas podnoszenia kamienia.

Kiedy udzieliśmy jakiemuś ciału pewną prędkość, musieliśmy zatem wyłożyć na to pewną pracę. Ale pra- ca ta nie ginie, nie jest stracona. Ka- mień, gdy został rzucony, (a więc otrzy- mał pewną prędkość) nabył przez to zdolności do wykonania pewnej pracy: może coś przewrócić, coś zła- mać, potłuc i t. d. Wszystko to jest pracą, co prawda zazwyczaj niepoży- teczną lub szkodliwą. Kula armat- nia wystrzelona może przebijać i rozwalać ściany; dopóki zaś leży spokojnie jest martwym przedmio- tem, który nie zdoła uczynić nic podobnego. Jeśli chcemy wbić gwóźdź w deskę leżącą, dajemy na to pionowo,

Opuścić lub inaczej wyrazić, pomijając wyraz „strata"

mamy do przezwyciężenia opór, a więc pracę do wykonania. Nikt nie poprzestanie na tem, żeby w tym razie położyć młotek na główce gwoździa; każdy wie, że ciężar młotka nie wystarczy, nie da potrzebnej tu pracy. Każdy będzie uderzał młotkiem tj. nada mu pewną prędkość, utworzy w to pewną pracę, którą młotek wyda podczas uderzenia, na pokonanie oporu.

## §. 17. Energia.

Pragnąc powiedzieć, że ktoś jest zdolny wiele uczynić, wiele działać, nazywamy go energicznym; powiadamy, że ma wiele energii. Energią zatem w języku potocznym nazywamy zdolność do czynu. Podobne znaczenie ma wyraz „energia" w języku naukowym. Widzieliśmy, że kamień rzucony z pewną prędkością lub podniesiony

o pewną wysokość, nabywa zdolności wykonania pewnej pracy. Jest w nim wówczas pewien zasób pracy, którą każdej chwili może wykonać. Ten zasób nazywamy energią kamienia. Powiadamy, że kamień rzucony ma pewną energię, dzięki swemu ruchowi; że kamień podniesiony ma pewną energię dzięki swemu wzniesieniu. –

Żeby zwiększyć energię kamienia, trzeba wykonać pracę. Przeciwnie, gdy kamień dostarcza nam pracy, energia jego zmniejsza się. Sam przez się kamień przechowuje bez żadnej zmiany energię, jaką posiada. Na wzniesienie kamienia na szczyt góry potrzeba pracy; przez to wzniesienie kamień otrzyma energię, równą tej wykonanej pracy i tę energię przechowa, choćby tam całe wieki leżał.

Gdy ktoś ma pewien majątek, tedy majątek ten rośnie wskutek do-

chodów właściciela, a maleje przez jego wydatki. Otóż energia kamienia to jakby *majątek*; praca jaką łożymy na podniesienie lub poruszenie go, jest podobna do *dochodu*, a praca wykonywana przez kamień, odpowiada *wydatkom*.

## §. 18. Energia ruchu i energia wzniesienia.

Poznaliśmy dotychczas dwa rodzaje energii: po pierwsze, energię ciała poruszającego się — po wtóre, energię, którą ma dzięki ciężkości każde ciało podniesione nad ziemią. Kiedy rzucamy kamień pionowo w górę, nadajemy mu z początku pierwszy rodzaj energii, energię ruchu. Ta energia zmniejsza się, w miarę jak kamień wznosi się wyżej i coraz powolniej się porusza. Lecz za to powiększa się energia wynikająca ze wzniesienia: to jest tem znaczniej=

sza, im kamień znajduje się wyżej. A zatem, tracąc na jednej energii, ciało zyskuje na drugiej.

Gdy energia ruchu zupełnie się wyczerpie, kamień zatrzymuje się na chwilę i poczyna spadać, jak gdyby go ktoś z wierzchołka tej drogi puścił swobodnie. Teraz, podczas spadania dziać się będzie wprost przeciwnie, niż poprzednio. Energia, wynikająca ze wzniesienia, będzie się zmniejszała, zato wzrastać musi energia ruchu, a więc kamień będzie spadał coraz prędzej.

Dobiegając ziemi, kamień ma _kierunek_ ruchu wprost przeciwny niż kiedy wybiegał z ponad ziemi w górę; ale _prędkość_ ruchu ma tę samą, a zatem i tę samą _energię_ ruchu. A więc, ile energii ruchu zamieniło się na energię wzniesienia podczas ruchu do góry, tyleż wytworzyło się jej napowrót kosztem energii wzniesienia, podczas ruchu ku dołowi.

## §. 19. Praca w ruchu ukośnym.

Przypuśćmy, że wnosimy jakiś ciężar po schodach. Wówczas ciężar odbywa kolejno ruch dwojakiego rodzaju. Najprzód podnosi się pionowo (AB. rys. 19) potem przebywa szerokość schodka poziomo (BC) później znów podnosi się pionowo (CD), znów porusza się poziomo (DE) itd. Siła ciężkości sprzeciwia się jedynie pionowemu podnoszeniu się ciężaru, ruchowi zaś poziomemu wcale się nie sprzeciwia. A zatem mamy pracę do wykonania przeciwko ciężkości tylko na drogach AB. CD. EF. itd. których drogi razem wzięte wynoszą wysokość całą OZ. o którą podniesiony ciężar ostatecznie. A zatem musimy wykonać tę samą pracę wnosząc ciężar po drodze ABCDEFGHIK. jak wciągając go do góry wprost, wzdłuż linii OZ.

Podobnie, żeby wciągnąć ciężar

po drodze prostej pochyłej AB. (rys. 20) potrzeba tej samej pracy, jakiej potrzeba na drodze pionowej OZ; na drodze AC. albo AD. trzeba także tej samej pracy, jak na drodze OZ. Przypuśćmy np. że AO. na rys. 20. wyobraża poziom podłogi pokoju, BCD. zaś poziom sufitu. Powiadamy wówczas, że praca, potrzebna do podniesienia ciężaru od podłogi do sufitu, zależy od wysokości pokoju, ale nie zależy od nachylenia drogi, jaką ciężar odbywa pomiędzy sufitem a podłogą. Wciągajmy ciężar C. (rys. 21) po pochyłej linijce AB. Skoro tylko nachylimy linijkę ku poziomemu położeniu, ujrzymy natychmiast, że ciągnięcie wymaga mniejszego wysiłku. Ale wówczas podniesienie ciężaru o pewną wysokość będzie połączone z przebyciem dłuższej drogi, jak to widać najlepiej na rys. 20. Zatem łożymy wprawdzie mniejszy wysiłek, ale łożymy

go dłużej, na drodze dłuższej; dla tego ostatecznie wykonywamy pracę też samą.

Jak wiemy, praca, którą wykonywamy przy podnoszeniu ciężaru, idzie na dochód jego energii wzniesienia. Zatem ta energia wzrasta przy podnoszeniu ciężaru, <u>zależnie</u> od wysokości, o jaką go podnosimy, ale <u>niezależnie</u> od nachylenia drogi, po której go podnosimy. Na drodze AB np. (rys. 20) energia ta powiększa się o tyleż, o ile powiększa się na drodze <u>OZ</u>; o tyleż powiększa się na drodze AC, i o tyleż na drodze AD. Możemy powiedzieć: na całym suficie energia wzniesienia jest wszędzie jednakowa; na podłodze jest ona również wszędzie jednakowa, lecz jest mniejsza niż na suficie.

## § 20. Energia ruchu ukośnego

Przypuśćmy, że puszczamy cię-

szy z punktów A. C. D. sufitu po drogach równie nachylonych BA – CA. DA (rys. 20). Możemy np. wystawić sobie szynienki, po których puszczamy gładkie kule. Wszystkie kule dobiegają do podłogi w A. z pewnemi prędkościami, więc z pewnemi energiami ruchu. Zkąd wzięła się ta energia ruchu? wszak wybiegające z B. C. D. kule z początku jej nie miały. Ta energia ruchu wytworzyła się z energii umieszczenia; ile ubyło ubyło drugiej, tyle wytworzyło się pierwszej. (§ 18). Ale wiemy, że na drogach BA. CA DA. energii umieszczenia ubyło jednakowo wiele; a zatem energii ruchu na tych drogach wytworzyło się także jednakowo wiele. Kule przybywają więc do A. wszystkie z jednakowemi prędkościami.

Gdybyśmy mogli teraz wprowadzić te kule, wraz z ich prędkościami

na nowe drogi AE. AF. AG. (rys. 22) dokąd wówczas dobiegłyby one mocą tych swoich prędkości? Powiadamy, że dobiegłyby napowrót aż do sufitu, t.j. aż do punktu E. F. G. Istotnie: wszystkie w punkcie A. kule mają tyle energii ruchu, ile ubyło energii wzniesienia po drogach BA. CA. DA. Teraz, po nowych drogach AE. AF. AG. energii wzniesienia będzie znów <u>przybywało</u>, kosztem energii ruchu i w punktach E. F. G. energia wzniesienia stanie się napowrót taką, jaką była w B. C. D. A zatem właśnie w tych punktach E. F. G. energia ruchu się wyczerpie; energia ruchu starczy każdej kuli na dojście do sufitu bez względu na nachylenie jej drogi.

## §. 21. Wahadło.

Coś podobnego zachodzi; gdy

kołysze się pion odchylony, czyli, gdy <u>wahadło</u> się waha. Kula wahadła (rys. 23.) z miejsca B. rys. zbiega na dół ku A. pod wpływem siły ciężkości zupełnie tak samo, jak kula która zbiega na dół po nachylonej rynience. – Różnica jest tylko ta, że jednej kuli przeszkadza w swobodnem spadaniu wprost na dół opór rynienki, drugiej zaś – wytrzymałość nitki wahadła; dlatego pierwsza kula biegnie po drodze prostej pochyłej, druga zaś po drodze która jest <u>częścią obwodu koła</u>, czyli <u>łukiem koła</u>.

Odchylamy wahadło, aż przyjmie położenie OB. i puszczamy je swobodnie. Widzimy wówczas, że kula jego biegnie ku A. przebiega przez punkt A. z największym rozpędem i wznosi się z drugiej strony aż do C. tj. aż do punktu, leżącego równie wysoko po nad A, jak B. Tu się kulka zatrzymuje

na chwilę i zawraca ku A. Mamy tu
zatem takie same przemiany, jak
w przypadku poprzednim. W punkcie
B. energia wzniesienia była większa
niż w A, bo kulka znajdowała się
dalej od ziemi. Na drodze BA. zatem
energia wzniesienia zmniejszała
się, mianowicie zamieniała się
w energię ruchu. Na drodze AG. prze-
ciwnie, ta energia ruchu zamienia-
ła się napowrót w energię wznie-
sienia, która w miejscu G. stała się
znów taką, jaką była w B. Łatwo
teraz zrozumieć, dlaczego kul-
ka przebiegła przez miejsce A.
z największą prędkością i dlacze-
go wzniosła się właśnie do
punktu G. ze strony przeciwnej.
Jeśli początkowo bardziej odchyli-
my wahadło np. aż do OC. kul-
ka przebiegnie przez A. z jeszcze
większą prędkością, z przeciwnej
zaś strony podniesie się aż do F. –

Możemy i tak urządzić wahadło, ażeby kulka przebiegała drogi rozmaicie nachylone. W tym celu wbijamy gwóźdź w miejscu np. P. (fig. 24).

Drogę od A do B. wahadło odbywa teraz tak samo jak poprzednio; ale począwszy od A. idzie wzdłuż łuku Ap ponieważ nić w położeniu OA. zagina się o gwóźdź P. i skraca się tym sposobem do długości PA, której też równa się Pp. Otóż spostrzegamy, że po tej nowej drodze Ap. która jest widocznie bardziej stroma niż dawniejsza AG. kulka wahadła znowuż dochodzi równie wysoko jak przódy, mianowicie do punktu p. położonego na tej samej poziomej jak B. i G. Podobnie, jeśli wbijemy gwóźdź niżej, np. w R. nić skraca się jeszcze bardziej droga od A. staje się jeszcze bardziej stromą (Ar), lecz kulka znów docho-

dzi równie wysoko jak przódy, mianowicie, aż do v.

Gdybyśmy wbili gwóźdź tak nisko, że swobodna część nitki nie wystarczyłaby na to, by kulka doszła do poziomu BS. (np. gdybyśmy go wbili w T.) wówczas wahadło <u>owija się</u> dokoła tego gwoździa, bo energia ruchu przy największem możliwem podniesieniu się z lewej strony jeszcze całkowicie nie jest wyczerpana.

## §. 22. Bezwładność.

Pojmujemy teraz, dlaczego same przez się ciała nie przechodzą nigdy ze spoczynku w ruch (§. 9.) Albowiem samo przez się żadne ciało nie może wytworzyć sobie energii ruchu. Żeby energię ruchu wytworzyć, trzeba pracy zewnętrznej, a więc działania

siły zewnętrznej.

Jeżeli znowu ciało już jest w ruchu, czyli już posiada pewną energię ruchu, tedy samo przez się nie może tej energii powiększyć. A zatem, gdy ciało jest w ruchu, nie może samo przez się począć nagle prędzej się poruszać. Do tego potrzeba pracy z zewnątrz, a więc działania siły zewnętrznej.

Lecz jak samo przez się ciało nie może zwiększyć swej energii, tak też nie może jej zmniejszyć samo przez się. Ciało tylko wtedy traci na energii, kiedy wykonywa jakąś pracę na zewnątrz, czyli pokonywa działanie jakiejś obcej siły. Dopóki więc nie przeszkadza żadna obca siła, dopóty ciało, które jest w ruchu, będzie swój ruch zachowywało bez zmiany. —

Takie zachowywanie się ciał

nazywamy ich <u>bezwładnością</u>.

Przykłady bezwładności spotykamy codziennie. Przypuśćmy, że w wagonie stoi człowiek. Jeśli pociąg nagle ruszy, człowiek przechyli się <u>w tył</u>; to świadczy o bezwładności jego ciała. Istotnie, żeby całego człowieka poruszyć, trzebaby przyłożyć siłę równomiernie do całego ciała. Tymczasem siła pociągowa została przyłożona tylko do stóp; stopy człowieka idą zatem naprzód, a reszta ciała pozostaje w tyle. Przeciwnie, jeśli człowiek stoi w biegnącym wagonie, a pociąg nagle zwolni, stopy zwolnią swój bieg; reszta zaś ciała zachowując swą prędkość, dzięki bezwładności pochyli się naprzód.

Coś podobnego dzieje się podczas trzęsienia ziemi: ziemia nagle porusza fundamenty bu-

dowli, reszta zaś budowli przez bezwładność trwa w swym poprzednim spoczynku; dlatego podczas trzęsienia ziemi gmachy pękają i rozpadają się. Z bezwładności korzystamy, gdy strącamy z drzewa dojrzałe owoce; przez bezwładność długi kij drewniany łamie się, kiedy trzymając jeden koniec w ręku, próbujemy nagle nadać kijowi ruch bardzo szybki. Gdy wyskakujemy z powozu lub wagonu podczas biegu, czujemy, że ciało nasze dąży do pozostania w stanie ruchu. Chcąc przeskoczyć szeroki rów, rozpędzamy się; w jakim celu to czynimy? żeby, gdy skoczymy, ciało nasze przez bezwładność poleciało jak najdalej.

Przykład bezwładności mamy także w ruchu wahadła. Wiemy, że w położeniu pionowem OA (rys 23, §. 21.) siła ciężkości

wypręża tylko nić na dół, ale bynajmniej nie dąży do nadania kulce jakiejkolwiek prędkości. Oczywiście przy wahaniu się wahadła kulka przebiega poza to położenie A tylko przez bezwładność.

Przypuśćmy, że znajdujemy się w wagonie, upuściliśmy monetę na podłogę. Wiemy, że spadnie ona do stóp naszych, bez względu na to, czy wagon biegnie, czy jest zatrzymany. To dowodzi, że moneta uczestniczy w ruchu postępowym całego wagonu nawet i wtedy, kiedy spada swobodnie, kiedy jej zatem nic nie popycha i nie ciągnie. Tak być musi wskutek bezwładności, moneta spadając zachowuje ruch, jaki miała zanim została puszczona. —

Zupełnie podobnie mają się rzeczy w następującym przykładzie:

Kiedy rzucimy kamień prostowo do góry, spadnie on w to samo miejsce, z którego wybiegł w górę. Ale wiemy, że kula ziemska obraca się koło osi, a zatem każdy punkt na ziemi biegnie wskutek tego ze znaczną szybkością, bo w ciągu 24-ech godzin musi obiedz koło, którego promieniem jest odległość miejsca, gdzie stoimy od osi ziemskiej. Na równiku odległość od osi jest największa, droga w ciągu 24 godzin to odbycia najdłuższa, zatem i prędkość największa, mianowicie 465 metrów na sekundę. W naszym kraju każdy punkt przebiega około 300 metrów na sekundę, wskutek obrotu ziemi. Gdyby więc kamień rzucony pionowo do góry, nie miał bezwładności, znalazłby za powrotem na ziemię, zupełnie inny punkt ziemi pod sobą niż ten,

z którego wybiegł. Jeśli np. 5 sekund upłynęło od chwili rzucenia pod górę do chwili powrotu, kamień znalazłby się o półtora kilometra od miejsca z którego został rzucony, gdyby nie bezwładność.

Wszystko to są przykłady na prawo bezwładności, które tu jeszcze raz powtórzymy:

Prawo bezwładności. Ciała same przez się zachowują stan spoczynku lub ruchu bez zmiany; do takiej zmiany potrzeba działania siły. –

## §. 23. Tarcie i opór.

Mogłoby się wydawać, że w niektórych razach ciała nie okazują bezwładności. Kiedy np. rozpędzimy koło na osi, ruch trwa przez pewien czas, ale niebawem staje się powolniejszy i w końcu ustaje. Po-

Dobrze rozkołysana huśtawka, uspakaja się powoli. Worek popchnięty po drodze, potoczy się niedaleko i niebawem zatrzyma się. —

Lecz w tych razach działa jakaś zewnętrzna siła, która przeszkadza ruchowi. Koło, obracające się na osi, przezwycięża tarcie w panewkach; huśtawka przezwycięża tarcie o hak, na którym jest zawieszona; worek, toczący się po drodze, doznaje tarcia o powierzchnię ziemi. Wiemy zaś, że do przezwyciężania tarcia potrzebna jest praca (§. 14), ta praca bierze się z energii poruszającego się ciała, zatem energia ta musi się wyczerpywać, ruch musi ustawać. To też widzimy, że ruch trwa dłużej, gdy tarcie zmniejszono. Na osi wysmarowanej, koło kręci się znacznie dłużej, niż na niewysmarowanej. Kula toczy się dłużej po gładkiej

posadzce niż po suknie: wózek popchnięty po lodzie potoczy się dalej, niż po szosie. Wagon na szynach kolei, biegnie bardzo długo sam przez się, skoro raz rozpędzony zostanie; na kolei konnej jeden koń ciągnie duży wagon bez wielkiego wysiłku. Łyżwiarz, raz, pędzony się, sunie daleko po lodzie mocą samej bezwładności.

Zakręcając hamulec wagonu lub powozu, powstrzymujemy ruch kół przez poddanie ich znacznemu tarciu. Gdyby nie było tarcia, nie moglibyśmy poruszać kół za pomocą pasów, jak to widzimy po fabrykach i warsztatach; ani utrzymać nitki prawie w ręku, gdyż wyślizgiwała by się pomiędzy palcami pod działaniem ciężkości.

Widzimy, że ciało poruszające się doznaje tarcia od ciał,



z któremi styka się podczas ruchu. Otóż ciała są zawsze otoczone powietrzem, z którem stykają się ze wszystkich stron; stąd pochodzi nowa przeszkoda w ich ruchu, którą nazywamy oporem powietrza. Poruszając wachlarzem lub arkuszem tektury, odczuwamy opór powietrza. Im prędzej poruszamy arkusz tektury, a także im większy jest arkusz, tem znaczniejszy opór czujemy. A zatem opór powietrza jest tem większy, im większa jest prędkość ruchu, oraz im większa jest powierzchnia, którą ciało rozpycha powietrze.

Kładziemy na stół (ryc. 25) płaską deseczkę drewnianą, opatrzoną bocznemi ramionami; końcem swym deseczka ma wystawać nieco za brzeg stołu. Przykrywamy ją egzemplarzem

dużej gazety. Spróbujmy podnieść gazetę nagłem, krótkiem uderzeniem wystającego końca deszczki. Natrafiamy na taki opór, że możemy raczej złamać deszczkę, niż podnieść w ten sposób gazetę.

## §. 24. Masa.

Streśćmy, co powiedzieliśmy o nadawaniu ciałom ruchu.

Ażeby nadać ruch jakiemuś ciału, musimy niekiedy pokonać działanie siły ciężkości, niekiedy tarcie, niekiedy opór. Są to przeszkody, pochodzące zzewnątrz poruszającego się ciała. Ciężkość pochodzi od obecności kuli ziemskiej (jak później szczegółowiej zobaczymy); tarcie — od ciał, których dotyka się ciało biegnące; opór — od ciała, w którem ono jest zanurzone. S

Są to więc przeszkody przygodne, czyli przypadkowe, zewnętrzne narzucone.

Tymczasem, przy nadawaniu ruchu jakiemubądź ciału, mamy zawsze inną jeszcze trudność do przezwyciężenia, która trwa bez zmiany, chociażbyśmy usunęli lub znieśli zupełnie wpływ ciężkości, tarcia i oporu. Ta zatem trudność wypływa z własności samego poruszającego się ciała, a nie z zewnętrznego wpływu otaczających ciał; jest ona nie przygodna lecz istotna. Pochodzi zaś stąd, że potrzeba wykonać pracę, ażeby nadać ruch jakiemubądź ciału (§. 16.) Jak wiemy, stąd też pochodzi bezwładność ciał (§. 22).

Im znaczniejszej pracy, im większego wysiłku potrzeba, ażeby jakiemuś ciału nadać pewną prędkość, tem masywniejszem nazywamy to ciało; czyli inaczej

możemy, że tem większą ma masę. Im większą masę ma ciało, tem trudniej mu też odebrać prędkość, którą już posiada.

Dużą kulę trudniej jest popchnąć po lodzie, aniżeli małą; zatem duża kula ma większą masę, niż mała. Jeśli jednakiego wysiłku potrzeba, aby poruszyć kulę drewnianą i kulę metalową z jednakową prędkością, tedy kule mają masy jednakowe. Można więc porównywać masy rozmaitych ciał; przyjąwszy masę pewnego określonego ciała za jednostkę mas, można masy ciał mierzyć. (§. 2) Lecz byłoby trudno ocenić dokładnie wysiłek, potrzebny do poruszania ciał; zdajemy sobie sprawę z wielkości tego wysiłku tylko mniej więcej, czyli przybliżenie. Dlatego obmyślono inne sposoby mierzenia mas, które niebawem poznamy.

## §.25. Masa a ciężar.

Wiemy z codziennego doświadczenia, że im cięższe jest jakie ciało, tem trudniej je poruszyć. A zatem musi istnieć jakaś zależność pomiędzy ciężarem ciała a masą ciała. Ale ciężar nie może to być to samo, co masa; wszakże to dwie własności różnego pochodzenia i znaczenia. Ciężar oznacza siłę, z jaką ziemia przyciąga ciało ku sobie. Masa jest miarą wysiłku, potrzebnego do nadania ciału pewnej prędkości. Weźmy np. wrota żelazne mają i pewien ciężar i pewną masę. Gdy wciągamy wrota np. na piętro jakiegoś gmachu za pomocą liny i bloku, mamy wówczas do czynienia z ich ciężarem. Gdy zaś wrota osadzono na zawiasach i chcemy je zamknąć lub otworzyć, wiemy, jak trudno jest je poruszyć,

d) jaką mają masę.

Zazwyczaj mamy do czynienia tylko z ciałami, które znajdują się tuż nad powierzchnią naszej kuli ziemskiej; dlatego wydaje nam się, że ciężar każdego ciała jest zawsze jednakowy. Tymczasem przekonano się, że na bardzo znacznej wysokości nad powierzchnią ziemi (np. na wysokiej wieży lub w balonie) ciężar ciała jest nieco mniejszy, niż na samej powierzchni. W Paryżu np. znajduje się wieża mająca 300 metrów wysokości; u jej szczytu każdy ciężar jest mniejszy o jedną dziesięcio-tysięczną część niż u jej podstawy. Np. 10000 litrów wody u jej szczytu ma taki sam ciężar, jak 9999 litrów u podstawy. Tymczasem masa ciała zostaje jednaka na wszelkiej wysokości nad ziemią. —

## §. 26. Jak ciężar ciał na powierzchni ziemi zależy od masy. –

Widzimy zatem, że masa – to całkiem inna własność ciała, niż ciężar. Ale jak powiedzieliśmy, pomiędzy masą i ciężarem ciała, na powierzchni ziemi musi zachodzić jakaś zależność. Spróbujmy zbadać, jaka to może być zależność. Jakże to uczynić, skoro nie znamy jeszcze sposobu na mierzenie mas, ani na mierzenie ciężarów?

Przypuśćmy, że mamy dwa ciała A i B; niechaj B. ma masę dwa razy większą niż A. Wówczas B. ma z pewnością ciężar większy, niż A.; lecz ile razy większy? Czy także dwa razy? Tego nie możemy z góry twierdzić; ale przypuśćmy na chwilę, że tak jest, i zobaczmy, coby ztąd

wynikało.

Wystawmy sobie, że ciało A i B. spadają swobodnie. Ciężar B. jest dwa razy większy, niż A; to znaczy, że siła ciężkości działająca na B. jest dwa razy znaczniejsza, niż działająca na A. Ale też B. potrzebuje dwa razy większej siły do nabycia tej samej prędkości, jak A. skoro ma masę dwa razy większą. Zatem obadwa ciała nabędą prędkości jednakowych pod działaniem ciężkości.

Jeżeli masa ciała A. jest nie dwa razy lecz trzy, cztery, czy ile kolwiek razy większa od masy ciała A, toby ciężar B. musi być podobnież trzy, cztery i t. d. razy znaczniejszy od ciężaru A. ażeby prędkości nabywane przy spadaniu, były jednakowe. Powiadamy w ogóle: jeśli ciężary ciał są do siebie w stosunku

tkim. jak masy (jeśli są, jak się mówi proporcjonalne do mas) tedy wszystkie ciała przy spadaniu powinny nabywać prędkości jednakowych. Lecz czyż nie widzimy codziennie, że jedne ciała spadają prędzej, niż inne? Np. kamyk, moneta, kulka metalowa, spadają widocznie prędzej niż lekkie pióro lub skrawek papieru. Pamiętajmy jednakowoż, że ~~te~~ spadanie, jakie widzimy zwyczajnie, odbywa się w powietrzu; a ciało poruszające się w powietrzu, doznaje oporu. ~~powietrza~~*) ~~([illegible])~~ trzeba uwolnić ciała (spadające) od ~~wpływu~~ tego oporu, ażeby podlegały jedynie działaniu siły ciężkości.

*) Poruszając np. wachlarzem, lub arkuszem tektury, doznajemy oporu powietrza.

odtąd

## §. 27. W próżni wszystkie ciała spadają równie prędko. —

Następującemi doświadczeniami

uwalniamy się od oporu powietrza.
Z rury szklannej (rys. 26) zaopatrzonej w kran B. (który można zaśrubować na talerzu ~~machiny~~ pompy pneumatycznej; zob. § ~~część II.~~) ~~wyciągamy~~ wyciągamy powietrze; trzymamy ją kranem do góry, tak że kulka metalowa i piórko, (które włożono do rury, przed jej zamknięciem) leżą przy końcu A. Przewracamy teraz rurę raptownie; ~~mięz kranem na dół~~; widzimy ~~wówczas~~, że kulka ~~metalowa~~ i piórko spadają razem i jednocześnie dochodzą ~~aż~~ do spodu ~~rury~~. Otworzywszy kran, i wpuściwszy tym sposobem powietrze ~~do rury~~, przekonywamy się, że piórko ~~spada powolniej, że~~ przybiega później do spodu rury niż kulka. Dlaczego tak się dzieje? dlatego opór powietrza opóźnia bardziej spadanie piórka niż spadanie kulki?
— Albowiem opór powietrza zależy

od powierzchni ciała, a nie od jego masy. (~~[illegible]~~) Piórko ma większą powierzchnię, niż kulka, więc ~~a zatem~~ doznaje od powietrza większego oporu. Nadto, ponieważ masa piórka jest mniejsza, więc skutek ~~jego~~ tego oporu na piórko będzie większy.

~~Weźmy dwie kule: żelazną i drewnianą, obie jednakowej wielkości. Kule te, mając powierzchnię równą, powinny) doznawać jednakowego oporu przy spadaniu w powietrzu. Lecz ta sama siła, przyłożona do masy większej, sprawia skutek mniejszy. Zatem opóźnienie kuli żelaznej pochodzące z oporu będzie mniejsze; kula żelazna będzie wyprzedzała drewnianą. Tak też dzieje się istotnie. Lecz wyprzedzanie to będzie nieznaczne, bo opór powietrza jest stosunkowo nieznaczny w porównaniu do siły ciężkości. —~~

Weźmy kawałek żelaza Ż (rys. 27) i kawałek drzewa D i przywiążmy je do siebie za pomocą sznurka. Połóżmy drzewo na żelazie i puśćmy je swobodnie. Gdyby cięższe żelazo miało jakąkolwiek dążność do spadania prędszego, nicby mu nie przeszkadzało wyprzedzić drzewo, oderwać się od niego, wyprężyć sznurek jak na rys. 28^m. Ale tego bynajmniej nie widzimy: oba ciała spadają razem i dobiegają ziemi razem, jak na rys. 27^ym. —

— Przeciwnie, gdybyśmy wzięli D w rękę, pozwolili żelazu Ż zawisnąć u spodu (rys. 28.) i w tem położeniu ciała puścili, wówczas w tem samem położeniu dobiegają ziemi. To dowodzi, że kawałek drzewa nie ma żadnej dążności do spadania prędszego niż kawałek żelaza. Zatem oba ciała dążą do poruszania się

z jednakową ~~szybkością~~ prędkością pod wpływem ciężkości. ~~Dlatego też gdybyśmy je mocno przytwierdzili do siebie, tak iż stanowiłyby jedno ciało, wówczas przy spadaniu żelazo nie przeszkadzałoby drewnu, ani drewno żelazu, jedna część nie uciskałaby drugiej, skoro obie ciała wszakby biegły równie prędko. Że istotnie tak jest, można się bezpośrednio przekonać. Czujemy ciśnienie kamienia, dopóki go trzymamy nieruchomo na dłoni. Lecz opuśćmy szybko dłoń ku dołowi z pomieszczonym kamieniem, przez ową krótką chwilę ruchu ciśnienie przestaje.~~

## §. 28. Mierzenie mas.

Powiadamy zatem, że wszystkie ciała spadają jednakowo prędko

F (§ 26)

podrzędnem samej tylko ciężkości,
To ~~zaś~~, jak wiemy, F jest dowodem,
że masy większe mają też cięża-
ry większe, i mianowicie większe
w tym samym stosunku. Zatem,
żeby mierzyć masy, trzeba mie-
rzyć ciężary ciał. Do tego celu
służy waga. Składa się ona z bel-
ki AB. (rys. 29), w której pośrodku
mieści się na dół zwrócony trój-
kątny stożek czyli pryzmat C,
Tym pryzmatem belka spoczywa
na podstawie K. tak, iż ostrze
pryzmatu stanowi oś, ~~na~~ koło
której belka się waha. ~~się może~~
Urządzenie to łatwo zrozumieć
z bocznego widoku podstawki ~~i~~
~~belki jeśli mamy się~~ (rys. 30.).
Belka dźwiga z dwóch stron szalki
M, N; ~~na które kładziemy wie-~~
~~ważenia~~. W pośrodku ~~belki~~ opa-
trzona jest we wskazówkę E; ko-
łysanie się belki poznajemy po

ruchu tej wskazówki przed skalą SS.

Waga tedy działa zupełnie jak doskonała [F] ~~którą postanowiliśmy~~ [F AB w §. 17-ym i wogóle jak dźwignia równoramienna.] ~~się w §. 17-ym~~; Dopóki ~~jest~~ (szalki są) puste, [belka] znajduje się w równowadze, gdyż szalki są jednakowo ciężkie. Skoro ~~ją lekko poruszymy~~ + naciśniemy ~~[illegible] się~~ Tzgodnie jedną + szalkę, ~~belk~~ [F belka] zaczyna się ~~belka~~ kołysać, ale się nie przewraca; ~~albo~~, ~~więc~~ środek ciężkości belki i szalek ~~[illegible]~~ znajduje się poniżej ostrza punktu $C$, zatem waga zachowuje się jak ciało zawieszone, a nie jak podparte (§. 13). Kiedy na jednej szalce, np. na prawej, leży ciało cięższe niż na drugiej, szalka ~~[illegible]~~ prawa przeważa, wskazówka idzie na lewo. Ujmując albo dokładając, doprowadzimy do tego, że wskazówka stoi nieruchomo w pośrodku skali; lub też

wychyla się w obie strony jednako,
wo daleko. ~~[illegible]~~ Na
szalkach leżą wówczas ciała, których cięża-
ry są równe.

W ten sposób porównywamy cię-
żary różnych ciał z ciężarem ~~pewnych~~,
F odważników, czyli umyślnie przygotowanych ~~[illegible]~~ ciężarków; ~~ten~~ ciężar ich jest
znany, tj. porównany z jednostką
ciężaru. Tem samem jak ~~gdy~~ wie-
my, porównywamy też i masy
ciał, które ważymy, z masą
~~ciężarków~~ F odważników, a za ich pośrednictwem
z masą obraną za jednostkę. Za
jednostkę masy obrano gram,
tj. masę jednego centymetra
sześciennego czystej wody. Dzie-
sięć gramów nazywamy deka-
gramem, tysiąc gramów - kilo-
gramem, tysiączną zaś część
grama - miligramem. A za-
tem ~~jeden~~ milimetr sześcien-
ny wody ma masę ~~jednego~~
miligrama, czyli waży ~~jeden~~

miligram; ~~jeden~~ litr (czyli ~~jeden~~ decymetr sześcienny) wody waży ~~jeden~~ kilogram, a ~~jeden~~ metr sześcienny wody waży tysiąc kilogramów. ~~albo miliona gramów~~ —

Na ryc. 31. widzimy kubek szklany dzielony; skala wcięta na szkle oznacza, że ni do kreski 10. np. mieści się w nim dziesięć gramów wody ~~a do kreski 20 dwadzieścia~~ i t. d. Mając wagę i dokładne ciężarki można ~~samemu~~ przyrządzić taki kubek ~~(szklany mosiężny albo papierowy)~~ albo też sprawdzić rzetelność gotowego kubka. ~~Zrównoważywszy ciężar samego kubka np. śrutem, dodajemy 10 gramów i dolewamy wody, dopóki nie nastąpi równowaga. W taki sam sposób idzie się coraz dalej~~. Można też i na odwrót, mając kubek dzielony, sporządzić ~~sobie~~ gramowe ciężarki. —

## §. 29 Gęstość.

Zróbmy sześciany, mających (po) centymetrze długości w krawędzi, a więc równe każdy centymetrowi sześciennemu. Zróbmy jeden z ołowiu, drugi z ~~drzewa~~ żelaza, trzeci ze szkła, czwarty z lodu, piąty z drzewa (gotowego np.) szósty z korka. — Widzimy odrazu, że sześcian ołowiany jest najcięższy, a korkowy — najlżejszy. Ale za pomocą wagi ~~[illegible]~~ możemy poznać dokładniej, ~~[illegible]~~

F że:

sześcian ołowiany waży około 11. gramów
" żelazny " " 7½ "
" szklany " " 2½ "
" z lodu " " 9/10 "
" z drzewa " " ½ "
" z korka " " ¼ "

w dwóch kolumnach na środku stronicy; tak:

| | |
|---|---|
| ..... 11 gr.. | .... 9/10 gr |
| ..... 7½ ... | .... ½ .. |
| ..... 2½ ... | .... ¼ .. |

— Gdyby można było zrobić z wody taką (samą) bryłkę, równą centymetrowi

sześciennym, ważyłaby ona jeden gram
Widzimy więc, że w pewnej objętości
ołowiu, złota i szkła mieści się ma=
sa większa, niż w tej samej objętości
wody; a w pewnej objętości lodu,
drzewa i korka mieści się masa
mniejsza, niż w tej samej objętoś=
ci wody. Mówi się, że ołów, złoto,
i szkło są gęstsze, ~~niż woda, są~~
a lód, drzewo i korek – mniej
gęste niż woda. Gęstością nazywa
się [liczbę] ~~[illegible]~~ gramów w cen=
tymetrze sześciennym. A zatem
woda ma gęstość 1, ołów ma
gęstość „ 11, złoto „ 7½, szkło „ 2½ –
lód ~~9/10 czyli~~ 0·9, drzewo jodłowe „
~~[illegible]~~ 0·5; korek ~~[illegible]~~ 0·25. —
— ~~Skoro centymetr sześcienny
ołowiu waży 11 gramów, przeto
jeden gram ołowiu zajmuje tyl=
ko jedną jedenastą część centy=
metra sześciennego. Jeden gram
drzewa jodłowego zajmowałby~~

F liczbę

~~przeciwnie dwa centymetry sześcienne, a jeden gram korka – cztery centymetry sześcienne. Im większa więc gęstość jakiego ciała, tem mniejszą objętość zajmuje jego gram. –~~

Rtęć jest cieczą tak samo jak woda, ale ma gęstość bardzo znaczną. Zrównoważmy na szalkach wagi dwa kubki ~~takie~~ jak na rys. 32. Jeśli do jednego włożymy dziesięć centymetrów sześciennych rtęci, trzeba będzie wlać do drugiego 135 centymetrów sześciennych wody, żeby przywrócić równowagę. Zatem gęstość rtęci wynosi 13·5. Gęstość alkoholu (spirytusu) wynosi 0·8, a gęstość oliwy 0·9. Mierzymy gęstość tych cieczy najlepiej za pomocą baniki szklanej (rys. 32), którą ważymy najprzód pustą, później ~~pełną wody, pełną alko~~ (pełną wody) ~~pełną~~ (aż do jakiej kreski w wydrążonym koreczku) pełną alkoholu, oliwy i t.d. Odejmując za każdym razem ciężar baniki

pustej, znajdziemy ciężary wody, alkoholu, oliwy, które wypełniają tę samą objętość, a stąd ~~razem~~ ~~znajdziemy~~ gęstość alkoholu i oliwy.

## §. 30. Ruch ciała rzuconego.

Gdy puszczamy jakie ciało swobodnie, biegnie ono na dół po linii pionowej (§. 11.) ~~Zobaczymy~~ Teraz, jak się ciało porusza, gdy je rzucimy z pewną prędkością w jakim bocznym kierunku? ~~Wiemy~~ Będzie ~~ono~~ odbywało dwa ruchy jednocześnie: ten, który nadaliśmy my i ten, który ~~sprawia~~ wytwarza siła ciężkości. ~~czyli przyciąganie Ziemi~~. Przypuśćmy, że z wieży lub z góry wystrzelono kulę armatnią w kierunku AZ (fig. 33). Gdyby nie było ciężkości, kula pobiegłaby w kierunku AZ i przez bezwładność musiałaby biedz w tym kierunku coraz dalej i dalej. Ale

Fzdo

siłą ciężkości od pierwszej chwili przyciąga kulę ku dołowi. Dlatego też kula zamiast do $Z'$ np. dochodzi do $c'$, zamiast do $Z''$, dochodzi do $c''$ i t. d.; jednem słowem odbywa drogę AC. Gdyby wystrzelono kulę w A. z większą prędkością (np. za pomocą silniejszego naboju), wówczas ona pobiegłaby dalej w stronę Ad, zanimby ciężkość zdołała pociągnąć ją o tyleż, jak przedtem, ku dołowi; zatem przy większej początkowej prędkości drogą kuli będzie np. Ad. W razie mniejszej prędkości, przeciwnie, drogą będzie np. AB.

## §. 31. Bieg księżyca dokoła ziemi.

Wiemy jednakowoż, że ziemia nie jest płaska, lecz kulista; rozważmy więc ruch naszej kuli, pamiętając o tem. Na fig. 34. widzimy część ziemi GEFL. Gdyby ziemia była płaska, kula wystrzelona z A, byłaby spadła

jak powiedzieliśmy w C.; istotnie więc
F C. spadnie nie w F, lecz w E. Wystrzelo-
na silniej, spadnie nie w D, lecz w F.
Widzimy, że i linia powierzchni ziemi
GL obniża się coraz niżej pod poziom
linii GJ, tak jak linie AE i AF
obniżają się pod poziom AZ; tylko,
że linie AE i AF obniżają się prę-
dzej, więc dochodzą do powierzchni
ziemi GL. Możemy jednakowoż po-
myśleć, że wystrzelono kulę z wierz-
chołka A z taką prędkością, że
pobiegnie ona podrodze AK, tj.
podrodze, która obniża się zupeł-
nie tak samo pod poziom AZ,
jak GL obniża się pod poziom
GJ. Wówczas kula, chociaż ciągle
spada, nie zbliży się ~~ponieważ ani~~
F bowiem ~~trochę~~ do ziemi; o ile F kula uni-
ża się pod działaniem ciężkości,
o tyleż uniża się powierzchnia ziemi
wskutek swej kulistości. Cóż zatem
stanie się z kulą? okrąży ~~ona~~ ziemię

~~ostatecznie powróci do A ze strony przeciwnej, i będzie musiała wiecznie tak krążyć, trzymając się od ziemi w stałej odległości. Zatem rozumie się. Gdyby wyrzucono kulę z jeszcze większą prędkością, musiałaby ona odbiec od ziemi i nigdy by już nie powróciła na nią.~~ —

~~Wróćmy do kuli, biegnącej po~~

i powróci do A ze strony przeciwnej. ~~Drodze etc.~~ Gdyby nagle, w którymś miejscu tej drogi, siła ciężkości działać przestała, kula ~~nasza~~ po-biegłaby, ~~znowu~~ dzięki bezwładności, po linii stycznej do drogi w tem miejscu, tj. po linii takiej jak Az. w miejscu A. Ale tak być nie może, bo siła ciężkości jest czynna ciągle, bez przerwy. ~~Zatem~~ Więc działanie ciężkości polega na tem, że zakrzywia ona ustawicznie drogę naszej kuli i tym sposobem nie pozwala jej odbiec od ziemi.

A znowu Bezwładność ~~[illegible]~~ (nabytego) ruchu ~~raz~~

~~[illegible]~~ nie pozwala kuli ulec ciężkości i upaść na ziemię.

Wiemy, że siła ciężkości działa na najwyższych górach i w najwyższych wysokościach, do jakich wzniesiono się balonami. Księżyc znajduje się jeszcze znacznie F ~~dalej od ziemi, bez wątpienia~~ ~~przyciągania, ale~~ i w księżycowej odległości ciężkość jeszcze jest czynna. —

F wyżej nad nami, znacznie dalej od ziemi; ale niewątpliwie

Teraz ~~dopiero~~ rozumiemy, dlaczego księżyc obiega wciąż naszą ziemię do koła, ani nie spadając na nią, ani ~~i~~ nie odbiegając od niej. Bo <u>księżyc krąży tak, jak nasza kula, która pobiegła po drodze Ak.</u> Zatem ta sama siła F która ~~na ziemi~~ nadaje ciałom ciężar, która wypręża pion, i zmusza upuszczone jabłko do spadania, ta sama siła nie pozwala księżycowi odbiedz po linii stycznej, lecz ~~ustawicznie~~ zakrzywia jego drogę i zmusza go tym sposobem do krążenia w koło

F przyciągania ziemi,

ziemi. ~~Siłą tą jest ciężkość czyli przyciąganie ziemi.~~

~~Ale~~ Udowodniliśmy, że ciężary ciał na ziemi są proporcyonalne do ich mas (§§. 26. 27. 28.) Zatem powiadamy: siła ~~powiadamy~~ przyciągania ziemi jest proporcyonalna do masy ciała, przyciąganego przez ziemię.

## §. 32. Prawo przyciągania.

Księżyc obiega raz dokoła ziemi w ciągu 27 dni, 7 godzin, 43 minut i 11 sekund; ~~to znaczy~~ innemi słowy, w ciągu 2360591 sekundy. Ponieważ trzyma się od środka ziemi na odległości, przeszło 60 razy znaczniejszej niż promień kuli ziemskiej, t.j. na odległości około 384.400 kilometrów, przeto obwód koła, po którem biegnie, mierzy około 2415.200 kilometrów. W ciągu jednej sekundy księżyc

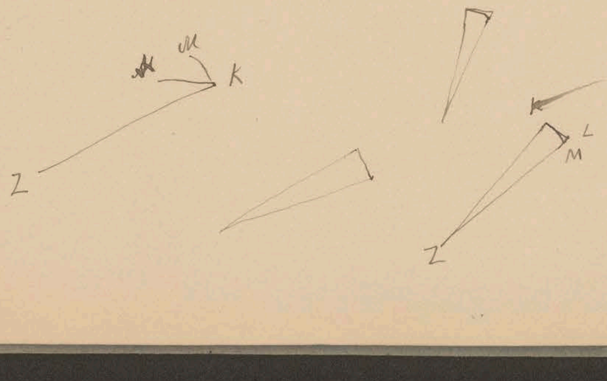
F po drodze swej około ziemi,

przebiega więc, F około 1025 metrów czyli przeszło kilometr. ~~po swej drodze około ziemi~~. Ztąd możemy obliczyć, o ile w ciągu sekundy zakrzywia się droga księżyca w kierunku ku ziemi.

Przypuśćmy np., że ziemia jest w Z. a księżyc w K. (ryc. 35). Gdyby ziemia nie przyciągała, księżyc podążyłby w kierunku KL; tymczasem pod wpływem przyciągania porusza się po łuku ~~KL~~ F. Wystawmy sobie, że ryc. 35. powiększono, aż do rozmiarów prawdziwych; wówczas linia KZ ma 384400 kilometrów długości, łuk zaś KM. ma kilometr i 25 metrów długości, jeśli księżyc przebiega go w ciągu sekundy. ~~Łuk~~ Można wyliczyć, że wówczas ~~linia~~ F LM. miałaby tylko 1,36 milimetra. A zatem przyciąganie ziemi sprowadza księżyc z drogi, którą odbywałby przez ~~bezwład~~.

F KM

F odcinek



bezwładność, o 1·36 milimetra w ciągu
każdej sekundy. Gdybyśmy nagle za-
trzymali księżyc i puścili go swo-
bodnie, począłby ~~on~~ biedz ku ziemi,
więc w pierwszej sekundzie zbliżyłby
się do niej o 1,36 milimetra. Ale
wiemy (§ 27) że wszelkie ciała, lekkie
czy ciężkie, spadają równie prędko pod
wpływem przyciągania ziemi.
– Zatem nie tylko księżyc, lecz
wszelkie ciało, spadając ku niej,
na z ~~tej~~ odległości księżyca, prze-
biegłoby w pierwszej sekundzie
1·36 milimetra. ——

— Tymczasem, na powierzchni zie-
mi każde ciało, spadając swo-
bodnie, przebiega w pierwszej se-
kundzie 4·9 metra t.j. 3600 razy
więcej. ~~niż na odległości księżyca~~.
Widzimy zatem, że przyciąganie
jest 3600 razy mniejsze w odległości
księżycowej od środka ziemi, niż na
jej powierzchni; to znaczy, że

w odległości 60 promieni kuli ziem., który jest 3600 raz mniejsze, niż w odległości jednego promienia. Lecz 3600 = 60×60; dlatego też liczba 3600 nazywa się kwadratem liczby 60. Powiadamy zatem: gdy ciało oddala się od ziemi, przyciąganie, jakiego doznaje od ziemi, zmniejsza się tyle razy, ile razy kwadrat odległości jego od środka kuli ziemskiej się zwiększa.

F ~~Zkąd wynika zmniejszanie się ciężaru ciał, które podniesiona bardzo wysoko ponad powierzchnię ziemi (§. 25). Zmniejszenie się to jest nieznaczne, bo podniesienia się nasze od ziemi są drobne w porównaniu do promienia ziemi (6370 kilometrów)~~

F Mówi się krócej: przyciąganie jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości. —

## §. 33. Ciążenie powszechne.

Jak księżyc dookoła ziemi, zupełnie podobnie krąży ziemia dookoła słońca. Utrzymując się w odległości

1487000 kilometrów od słońca i obiega-jąc w ciągu roku koło, zakreślone tak ogromnym promieniem, ziemia nasza ~~nasi~~ w ciągu sekundy prze-biega blisko 30 kilometrów (dokładniej 29·6) ~~tę potężną bryłę~~, oży-wioną tak ogromną prędkością, utrzymuje ~~wszędzie~~ na wodzy przyciąganie słońca. Albowiem przyciąganie F ~~jest proporcjonalne nie tylko do masy ciała przycią-ganego (§. 31), lecz również do masy ciała przyciągającego. słońce zaś — to była ogromnie jeszcze potężniejsza niż ziemia. Trzeba by było zgromadzić 324.440 takich mas jak ziemia, ażeby otrzymać masę słońca. Ta~~ Olbrzymia bryła słoneczna utrzymuje swem przy-ciąganiem na wodzy nie tylko ziemię, lecz również inne ciała niebieskie, które widujemy nocą jako świetne gwiazdy i

F ziemię naszą,

F działa ~~nie tylko~~ pomiędzy słońcem a ziemią tak samo, jak działa ono pomiędzy ziemią a księżycem. ~~Słońce pociąga~~

które nazywamy planetami. Słońce przyciąga ziemię i planety, nie pozwala obiegać im po stycznych liniach prostych, ustawicznie zakrzywia ich drogi i zmusza je tym sposobem do krążenia koło siebie ⌉

*⌉ Słońce także (jak ziemia) przyciąga każde ciało proporcyonalnie do jego masy a odwrotnie proporcyonalnie do kwadratu odległości; ale przyciąga mocniej, niż ziemia, bo ma znacznie większą masę*

~~Leoz~~ ~~Widzimy więc że~~ nie tylko ziemia, ~~przyciąga, lecz~~ nietylko i słońce przyciąga; podobnie przyciągają i planety. Dokoła niektórych planet biegną księżyce ⌈ jak dokoła naszej ziemi. Co więcej: ~~przekonano się,~~ ~~że~~ i księżyc przyciąga naszą ziemię, i ~~że~~ nasza ziemia przyciąga słońce, i ~~że~~ planety przyciągają słońce i są przyciągane przez swoje księżyce. Przyciąganie ~~więc~~ jest zawsze obustronne, wzajemne; dlatego nazywamy je także ciążeniem.

*⌈ tak samo,*

Ziemia przyciąga kamień i kamień przyciąga ziemię; przyciąganie z obu stron jest dokładnie jednakowe, ⌈ ~~Ale~~

*⌈ ponieważ przyciąganie zależy zarazem od masy ciała przyciągającego i od masy przyciąganego.—*

Ale ta sama siła udaje ciału prędkość tem mniejszą, im masa tego ciała jest większa. (§. 24) Otóż masa ziemi jest miliony milionów razy większa, niż masa kamienia; dlatego, gdy oba ciała poczynają spadać ku sobie, bieg ziemi ku kamieniowi jest miliony milionów razy powolniejszy niż bieg kamienia ku ziemi. — Pomiędzy wszystkiemi bez wyjątku ciałami na świecie zachodzi takie wzajemne ciążenie. Dlatego pion przyciąga nietylko ziemia, ale także [np.] i góra, ~~choć naturalnie słabiej~~ [tylko słabiej,] bo ma znacznie mniejszą masę niż ziemia. To też w pobliżu góry pion nie wisi dokładnie pionowo, lecz odchyla ~~się nieco w kierunku góry~~ [nieco się ku niej]. Podobnież ~~znów~~ woda ~~w morzach i~~ oceanów jest przyciągana przez [słońce i] księżyc, skąd po-

wstają zjawiska, zwane przypływem i odpływem morza. Powiadamy, jednem słowem, że ciążenie jest powszechne.

Ciążenie powszechne panuje w świecie i rządzi ruchem ciał niebieskich i ziemskich. Odkrył to i udowodnił ~~anglik~~ Newton (czyt. Niuton) który żył temu lat dwieście. Tem odkryciem zasłużył na cześć i uwielbienie całej ludzkości. —

F uczony, nazwiskiem

(Koniec części I-ej.)

Rozdz. I